

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 22 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2008～2012

課題番号：20221007

研究課題名（和文）究極のナノスクイッドの開発とデバイス展開

研究課題名（英文）Development of an ultimate SQUID and its device application

研究代表者

高柳英明（TAKAYANAGI HIDEAKI）

東京理科大学 総合研究機構 教授

研究者番号：70393725

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・マイクロ・ナノデバイス

キーワード：単量子デバイス、スクイッド、量子ドット、量子コンピューター

1. 研究計画の概要

(1) 少数スピンの緩和過程の解明を目的として、ナノスクイッドの開発を進める。

(2) InAs 量子ドットで結合した超伝導磁束量子干渉計(SQUID)を実現し、光系と超伝導系間の量子インターフェースの基礎を確立する。そのための、光系と超伝導系の間の古典的結合を確認する。具体的には、量子ドットに光を照射し、ドット中にスピンを励起し、これによって、量子ドット接合が π -接合となることを確認する。次に、光系の光子のあるとない状態の量子重ね合わせ状態を、SQUID 系の π -接合と通常接合の量子力学的重ね合わせ状態への転写をおこなう。

(3) さらにスクイッドのデバイス展開という観点から、研究計画の途中から、ナノスクイッドを用いた物性探索を新たに加えることとした。具体的には、非 S 波超伝導体と考えられている Ru-Sr₂RuO₄ 共晶と従来型超伝導である Nb で超伝導ループを構成したハイブリッドナノスクイッドを作製しカイラル P 波超伝導体に特徴的な π -SQUID 状態、半整数量子渦状態の SQUID による検出を目指す。

2. 研究の進捗状況

(1) 自己成長量子ドットで結合した SQUID を FIB と電子ビーム露光技術を駆使して作製し、その SQUID 動作に成功した。さらに、バックゲートとサイドゲートの制御により、InAs 接合が π 接合になることを確認できた。これは、超伝導電流の流れる向きが逆転する現象である。

(2) Nb 膜、Nb/Au、および Nb/W₂ 層膜を

用いて、FIB 加工プロセスにより 1 μ m 以下のループ形状を有する SQUID の作成プロセスを確立した。これらの素子は変調率 10%程度、1T 程度の強磁場中まで動作可能な SQUID として動作し、Mn₁₂P の磁化トンネルの観測に成功した。また FeAs 系、Cu 系、Ru 系のジョセフソン接合の評価を行った。

(3) Ru-Sr₂RuO₄ 共晶と従来型超伝導である Nb でサブミクロンの超伝導ループを構成し、磁場による超伝導電流の変調を観測し、ハイブリッドナノスクイッドが動作していることを確認した。

(4) 希釈冷凍機強磁場中走査近接場顕微鏡(SNOM)を用いた光子照射手法の確立のために、極低温での量子ホール端状態の観測を試み、量子ホール端状態の縞状構造を初めて観測した。本研究成果は、極低温強磁場中で 100 nm 域への光照射が可能であることを示したもので、光とスピン、超伝導量子ビットとの量子力学的結合の実現へ向けてのマイルストーンとなるものである。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

(1) 自己成長量子ドットで結合した SQUID 動作に成功し、量子ドットに光照射する段階にまで来ている。

(2) 当初、立案した研究計画事項は達成されている。スクイッド量子ビットと光誘起スピンの量子力学的結合技術の確立へ向けてのマイルストーンに到達した。

(3) 強磁場中で動作可能な Nb ベースの

nano-SQUID の作成、動作および供給に成功している。

- (4) 量子ドットスクイッドの作製で確立した高精度位置合わせの技術を用いて新たなナノスクイッドの開発を進め、計画通りの結果が得られつつある。

4. 今後の研究の推進方策

(1) InAs 量子ドットに光照射して、ドット中にスピンを励起し、これによって π 接合となることを確認する。次に、光系の光子のあるとない状態の量子重ね合わせ状態を、SQUID 系の π -接合と通常接合の量子力学的重ね合わせ状態への転写をおこなう。

(2) 筑波大野村と共同して、量子ホール状態のエッジのスピンの偏局の観測を行う。また FeAs 系、Cu 系、Ru 系の SQUID の作成プロセスの構築を行い、これらの超伝導体を用いた量子ビットの構築を目指して、ループ内における磁束状態の観測を行う。

(3) 強磁場における走査近接場顕微鏡 (SNOM) を用いた局所光励起法の高性能化を行う。量子ドットやエッジ状態を介した光と電子の量子力学的結合の可能性を明確にする。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 20 件)

① π junction transition in InAs self-assembled quantum dot coupled with SQUID : S. Kim, R. Ishiguro, M. Kamio, Y. Doda, E. Watanabe, D. Tsuya, K. Shibata, K. Hirakawa, and H. Takayanagi : APPLIED PHYSICS LETTERS **98** 63106 (2011) : [selected Virtual Journal of Applications of Superconductivity **20** (2011)] 査読有

② Local transport properties of PrFeAsO_{0.7} using FIB micro-fabrication technique : K. Shirai , H. Kashiwaya, S. Miura, M. Ishikado, H. Eisaki, A. Iyo, I. Kurosawa , S. Kashiwaya : Physica C **470** 1473-1476(2009) 査読有.

③ Position dependent optical effect on the transport properties of S-Sm-S junctions : K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki, and H. Takayanagi : Physics Procedia **3**, 1177-1181 (2010) 査読有.

④ Optical imaging of the transport properties of S-Sm-S junctions : K. Tsumura , S. Nomura, T. Akazaki and H. Takayanagi : J. Phys. Conf. Series. **150**, 052273/1-052273/4 (2009) 査読有.

⑤ Anomalous transport through the p-wave superconducting channel in the 3-K phase of Sr₂RuO₄ : H. Kambara, S. Kashiwaya, H. Yaguchi, Y. Asano, Y. Tanaka, and Y. Maeno : PHYSICAL REVIEW LETTERS, **101**, 267003 (2008) 査読有.

[学会発表] (計 51 件)

① S. Kim, Side-gate controlled electrical properties of superconducting quantum interference device coupled with self-assembled InAs quantum dot: 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2010) 2010/7/27 Seoul, Korea

② H. Takayanagi, SQUID coupled with self-assembled InAs Quantum Dot Plasma 2010 2010/4/30 Hirosaki University, Japan (2010)

③ 石黒亮輔, Nb-Ru-Sr₂RuO₄ 接合を用いた SQUID, 第 58 回応用物理関係連合講演会 2011 年 3 月 26 日, 神奈川工科大学

④ 柴田祐輔, 局所磁気観察用 2ch-SQUID 測定系の開発, 応用物理学会学術講演会、長崎市、2010/9/16

⑤ 松本哲朗, Nb nanoSQUID の I_c 低減に向けてのアプローチ 第 57 回 応用物理学関係連合講演会, 2010/03/19, 東海大学湘南キャンパス

[図書] (計 1 件)

超伝導ハンドブック, 超伝導ハンドブック, 田仲由喜夫, 柏谷 聡, 朝倉書店, 2009/12/10

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 固有ジョセフソン接合素子, 及び, これを用いた量子ビット, 超伝導量子干渉素子, テラヘルツ検出器, テラヘルツ発振器, 電圧標準装置, ミリ波・サブミリ派受信機, 並びに, 固有ジョセフソン接合素子の製造方法

発明者: 柏谷裕美, 柏谷 聡

権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許権

番号: 2010-105228

出願年月日: 2010. 4. 30

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~takalab/S.html>